نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال هفتم، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹
صفحات ۲۹ – ۴۶

تحلیل وضعیت خشکسالی در سطح کشور ایران با استفاده از محصول بارشی مرکز ECMWF

علیرضا پیل‌پایه[1]؛ گروه مهندسی عمران، واحد پارس آباد مغان، دانشگاه آزاد اسلامی، پارس آباد، ایران.
داوود نجفیان قوجه‌بیگلو؛ دانشجوی مهندسی منابع آب ، دانشگاه علوم و تحقیقات ، تهران ، ایران.
توفیق سعدی؛ دکترای اقلیم شناسی در برنامه ریزی محیطی ، دانشگاه خوارزمی ، تهران ، ایران.
اکبر رحمتی؛ کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران.

دریافت مقاله : ۱۳۹۸/۰۶/۰۹ پذیرش نهایی:۱۳۹۹/۰۲/۱۵

چکیده

خشکسالی از جمله بلایای طبیعی است که نسبت به سایر پدیده‌های طبیعی در یک بازه زمانی طولانی اتفاق می‌افتد که به‌صورت متناوب جوامع بشری را از طریق اثرات منفی بر روی منابع آب و کشاورزی و به دنبال آن اقتصاد را دچار مشکل می‌سازد. یکی از روش‌های بررسی وضعیت خشکسالی استفاده از شاخص‌های خشکسالی همچون SPI می‌باشد. در این پژوهش از شاخص SPI جهت بررسی خشکسالی و ترسالی طی دوره زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۶ استفاده شده است. ایستگاه‌های سینوپتیک به دلیل عدم پراکنش مناسب و همچنین وجود خلاهای آماری زیاد نمی‌توانند به عنوان منبع بارش مناسب در این نوع پژوهش‌ها نقطه قابل اتکایی باشند به همین جهت منابع بارش شبکه‌بندی شده که دارای قدرت تفکیک مکانی و زمانی بالایی هستند می‌توانند به عنوان یک جایگزین مناسب برای ایستگاه‌های زمینی استفاده شوند، در این پژوهش از منبع بارش Era-interim که محصول مرکز پیش‌بینی های میان‌مدت جوی اروپایی است استفاده شده است. نتایج ارزیابی‌های اولیه حاکی از این بود که میزان همبستگی برای منبع بارش Era-interim و داده‌های مشاهداتی در محدوده ۰.۴۵ تا ۰.۹ برای ماه‌های مختلف بوده و همچنین میزان NRMSE برای این منبع بارش در اکثر ماه‌های مورد بررسی زیر ۰.۲ بود که با توجه به این دو شاخص می‌توان اذعان کرد منبع بارش ERA-interim در مقیاس زمانی ماهانه از دقت مناسبی در سطح کشور برخوردار است به همین جهت از این منبع بارش جهت بررسی وضعیت خشکسالی در سطح کشور استفاده شد. برررسی وضعیت خشکسالی با توجه به شاخص SPI بود حاکی از این مساله بود که با افزایش مقیاس زمانی شاخص SPI خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها شدیدتر شده به نحوی که خشکسالی‌ها و ترسالی‌های ملایم در اکثر ماه‌ها و سال‌های مورد بررسی تبدیل به خشکسالی‌های شدید و ترسالی‌های شدید شدند.

واژه های کلیدی: خشکسالی، شاخص SPI، منبع بارش شبکه‌بندی شده، قدرت تفکیک مکانی و زمانی، مرکز پیش‌بینی‌های میان مدت جوی اروپایی.

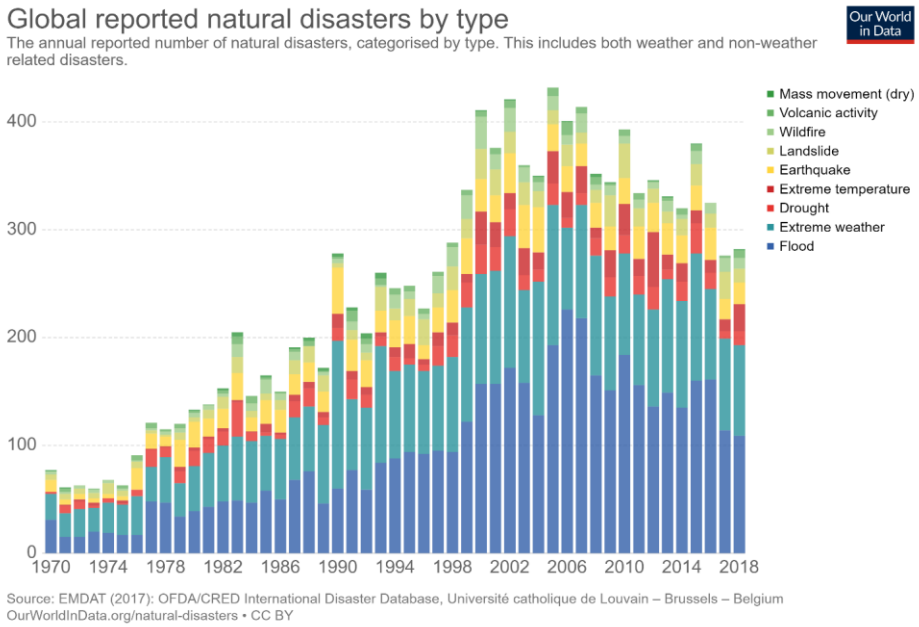
۱:نویسنده مسئول: Email: a.pilpayeh٥٤@yahoo.com

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-04-26]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.3.29]

مقدمه

خشکسالی از جمله بلایای طبیعی است که نسبت به سایر پدیده‌های طبیعی در یک بازه زمانی طولانی اتفاق می‌افتد که به‌صورت متناوب جوامع بشری را از طریق اثرات منفی بر روی منابع آب و کشاورزی و به دنبال آن اقتصاد را دچار مشکل می‌سازد. در بین بلایای طبیعی می‌توان گفت که خشکسالی جز پدیده‌هایی بوده که در زمان‌های متفاوت و در سطح جهان به وفور اتفاق افتاده است. با توجه به شکل ۱ نیز می‌توان به این نکته اشاره کرد که یکی از مهمترین چالش‌های پیش روی بشر خشکسالی‌های متعددی بوده که در سالیان مختلف اتفاق افتاده و در طی سالیان مختلف نیز روند افزایشی داشته است. با توجه به بررسی این پدیده و آگاهی از خطرات و اثرات احتمالی آن در بخش‌های مختلف می‌توان از اثرات منفی این پدیده در زمینه‌های مختلف جلوگیری کرد. به همین جهت پژوهش‌های مختلفی در زمینه بررسی وضعیت خشکسالی انجام پذیرفته است که در ادامه به برخی از این پژوهش‌ها اشاره می‌شود.



شکل۱: تعداد بلایای طبیعی گزارش شده در سطح جهان بر اساس نوع آن طی زمان‌های مختلف

در پژوهش‌های مختلفی وضعیت خشسکالی مورد بررسی قرار گرفته است در این بخش پژوهش‌هایی که از منابع بارش شبکه‌بندی شده جهانی استفاده شده است مد نظر می‌باشد. همچنین این بخش را می‌توان در دو قسمت جدا به این صورت که ابتدا پژوهش‌های انجام پذیرفته در زمینه ارزیابی مستقیم منابع بارش با استفاده از داده‌های زمینی بارش و بخش مربوط به بررسی کارایی این منابع بارش در زمینه پایش خشکسالی بررسی کرد. از بین پژوهش‌هایی که در زمینه ارزیابی منابع بارش به صورت مستقیم انجام پذیرفته می‌توان به عنوان مثال به پژوهشی اشاره کرد که در آن داده‌های بارش CMORPH[۱]، PERSIANN[۲]، GPCP[۳]، TRMM[۴] و APHRODITE[۵] را در مقیاس‌های روزانه، ماهانه،

[۱] CPC MORPHing technique
[۲] Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks
[۳] Global Precipitation Climatology Project
[۴] Tropical Rainfall Measuring Mission
[۵] Asian Precipitation – Highly-Resolved Observational Data Integration Towards Evaluation of Water Resources

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-04-26]
[DOI: 10.29252/jsaeh.7.3.29]

فصلی و سالانه با داده‌های مشاهداتی در مالزی برای دوره آماری ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۷ مورد مقایسه قرار گرفت و نتایج حاکی از این بود که داده‌های GPCP کمترین هماهنگی و داده‌های TRMM-۳B۴۲ RT و APHRODITE بیشترین هماهنگی را با ایستگاه‌های زمینی دارند(Tan et al., ۲۰۱۵).

همچنین در پژوهشی دیگر پنج محصول مختلف ماهواره‌ای متشکل از TRMM، PERSIANN، CMORPH، GSmap[۱] و همچنین منبع بارش بازتحلیل‌شده ERA-interim در چندین منطقه کوهستانی طی دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که عملکرد محصولات ماهواره‌ای ارتباط مستقیمی با تغییرات بارندگی دارند. به این صورت که در فصل زمستان بسیاری از محصولات ماهواره‌ای کم برآوردی و در فصول خشک بیش‌برآوردی داشتند. همچنین از دیگر نتایج مهم این بود که عملکرد منابع بارش ماهواره‌ای که توسط ایستگاه‌های اندازه‌گیری بارش در سطح زمین کالیبره شده بودند منطقه به منطقه متفاوت بوده و بستگی به تعداد باران‌سنج‌ها نیز داشت(Derin et al., ۲۰۱۶). در پژوهشی جامع‌تربرای حوضه Adgie واقع در ایتالیا ۸ منبع بارش را مورد ارزیابی قرار گرفت. در این پژوهش منابع بارش متشکل از سه نسخه مربوط به CMORPH و PERSIANN-CDR، PGF، CHIRPS[۲]، GSMaP_MVK و TRMM-۳B۴۲V۷ بودند. ارزیابی در مقیاس زمانی روزانه، ماهانه و سالانه و همچنین در مقیاس مکانی سلولی و در سطح حوضه انجام پذیرفت. نتایج نشان‌دهنده این بود که سه منبع بارش CHIRPS، TRMM و CMORPH_BLD عملکرد بهتری نسبت به سایرین دارند. از دیگر نتایج این پژوهش می‌توان به خطای زیاد در برآورد بارش زمستانی در مواقعی که میزان بارش کم می‌باشد اشاره کرد(Duan et al., ۲۰۱۶). در سال‌های اخیر نیز ارزیابی‌ها با توجه به وقایع حدی بیشتر در متون علمی مدنظر بوده که از این بین می‌توان به پژوهشی اشاره کرد که با استفاده از برآوردهای ماهواره ای و مجموعه داده های با وضوح بالا برای مطالعه رویدادهای حدی بارش در شبه جزیره ایبری را در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۸ مورد ارزیابی قرار گرفتند. منابع بارش متشکل از ERA-interim[۳]، ERA-۵، TRMM با توجه به داده‌های مشاهداتی موجود در سطح حوضه مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج حاکی از این مساله بود که منابع بارشی بازتحلیل شده و منبع بارش ماهواه‌ای در برآورد وقایع حدی بارش کم برآوردی داشته همچنین از دیگر نتایج مهم دیگر این پژوهش می‌توان به کارایی بهتر محصول ERA-۵ نسبت به ERA-interim و محصول TRMM اشاره کرد(Hénin et al., ۲۰۱۸).

همچنین در پژوهشی که به منظورارزیابی منابع مختلف بارشی متشکل از CaPA، ERA-Interim، ERA۵، JRA-۵۵[۴]، MERRA-۲[۵] و NLDAS-۲[۶] در حوضه رودخانه آسینبوئین (ARB) پرداخته شد (در این پژوهش بارش روزانه تمامی منابع مورد نظر استخراج شد و مورد بررسی قرار گرفت). نتایج حاکی از این مساله بود که در حالت کلی محصولات بارش مورد نظر در فصل بهار و پاییز بهترین عملکرد را دارند. به طور کلی، از بین محصولات مورد نظر CaPA بهترین عملکرد را داشته و بعد از آن MERRA-۲ عملکرد بهتری در سطح حوضه مورد نظر دارد از نتایج دیگر این پژوهش

۱ Global Satellite Mapping of Precipitation
۲ Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data
۳ ECMWF Re-Analysis-interim
۴ Japanese ۵۵-year Reanalysis
۵ Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications, Version ۲
۶ North American Land Data Assimilation System version۲

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-04-26]
[DOI: 10.29252/jsaeh.7.3.29]

می‌توان به این نکته اشاره کرد که ERA-۵ نسبت به ERA-interim عملکرد بهتری داشته و در نهایت بدترین عملکرد مربوط به JRA-۵۵ می‌باشد(Xu et al., ۲۰۱۹).

در ادامه می‌توان به پژوهش‌هایی که در زمینه کارایی منابع بارش جهانی در برآورد و پایش خشسکالی استفاده شده اشاره کرد. به عنوان مثال در پژوهشی با استفاده از دو منبع بارش ماهواره‌ای PERSIANN-CDR و CHIRPS به بررسی خشکسالی هیدرولوژیکی با استفاده از یک مدل هیدرولوژیکی پرداخته شد. منطقه مورد مطالعه در این پژوهش حوضه متوسطی در جنوب چین بود که با استفاده از دو منبع بارش ذکر شده و همچنین مدل بارش رواناب به اسم GXAJ و شاخص خشکسالی هیدرولوژکی SSI[۱] در این پژوهش استفاده شد. نتایج حاکی از این بود که دو منبع بارش PERSIANN-CDR و CHIRPS تقریبا دقت مناسبی در برآورد طبقه‌های مختلف خشکسالی داشته و صرفا در میزان برآورد خشکسالی در سطح حوضه کم‌برآوردی اندکی داشتند در حالت کلی هر دو منبع بارش ذکر شده دارای دقت مناسبی در برآورد خشکسالی در سطح حوضه بوده و صرفا در برآورد شدت خشکسالی دارای اریب بودند(Lai et al., ۲۰۱۹).

همچنین در پژوهشی دیگر نیز با استفاده منبع بارش CMORPH و شاخص‌های GSPEI و SPEI[۲] به بررسی خشکسالی در سطح حوضه رودخانه زرد در چین پرداخته شد. نتایج ارزیابی‌ها حاکی از این بود که منبع بارش CMORPH همبستگی مناسبی با داده‌های مشاهداتی داشته به همین منظور در این حوضه برای بررسی وضعیت خشکسالی به عنوان یک منبع بارش مناسب تلقی می‌شود. نتایج استخراج شده از این پژوهش را می‌توان در قالب زیر عنوان کرد؛

- شاخص GSPEI به منظور بررسی خشکسالی در سطح حوضه YRB با استفاده از داده‌های CMORPH که نزدیک به داده‌های مشاهداتی بود از دقت مناسبی برخوردار می‌باشد.
- همبستگی مثبت و بالا بین GSPEI و SPEI و همچنین آزمون معناداری حاکی از این مساله بود که شاخص GSPEI شاخص مناسبی جهت بررسی خشکسالی در حوضه YRB می‌باشد.
- شدت خشکسالی در هر فصل در حوضه YRB در تابستان بیشترین میزان و به دنبال آن بهار ، پاییز و زمستان بود.
- خشکسالی روند افزایشی در مقیاس ماهانه و در ماه‌های مارس، می، اوت و اکتبر نشان داد و همچنین در مقیاس فصلی و سالانه روند کاهشی داشت(Wang et al., ۲۰۱۹).

در پژوهشی از سه محصول بازتحیل Era-interim، MERRA-۲ و CFSR[۳] به منظور پایش خشسالی در طی دوره ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۵ در هند استفاده شد. ارزیابی‌های اولیه حاکی از این بود که هر سه محصول ذکر شده در برآورد دما و میزان بارش در فصول موسمی دارای اریب می‌باشند. تمامی محصولات بازتحلیل در تشخیص روند بارش موسمی در منطقه مورد مطالعه مناسب عمل نکرده و کارایی مناسبی نداشتند. با این حال علی‌رغم نتایج نامناسب هر کدام از این منابع به تنهایی در برآورد خشکسالی در فصول موسمی میانگین همادی این سه منبع دارای دقت مناسبی در برآورد

[۱] Standardized Soil moisture Index
[۲] Standardised Precipitation-Evapotranspiration Index
[۳] Climate Forecast System Reanalysis

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-04-26]
[DOI: 10.29252/jsaeh.7.3.29]

خشکسالی در منطقه بوده و می‌توان از میانگین این سه منبع به عنوان منبع بارش بهینه جهت برآورد میزان خشکسالی و پایش آن در سطح منطقه استفاده کرد(Shah and Mishra, ۲۰۱٤).

در نهایت در پژوهشی جامع‌تر توانایی هر کدام از منابع بارشی موجود در سطح جهان را در برآورد شاخص خشکسالی SPI مورد ارزیابی قرار گرفت. در این پژوهش منابع بارش متشکل از GPCC، GPCP، Era-interim، MERRA-۲ و MSWEP بود. نتایج نشان می دهد که شاخص‌های مبتنی بر بارش ارتباط بالایی با نوع منبع بارش، طول دوره آماری و تفکیک مکانی داشته به طوری که هر کدام از این عوامل تاثیر قابل توجهی در برآورد میزان شاخس مورد نظر دارد. این رابطه همچنین با توجه به شدت خشکسالی نیز متغیر بوده و وقایع خشکسالی شدید نسبت به تفکیک مکانی و طول دوره آماری حساس‌تر می‌باشند(Golian et al., ۲۰۱۹).

در سال‌های اخیر در سطح کشور نیز مطالعات گسترده‌ای در زمینه ارزیابی منابع بارش به صورت مستقیم و همچنین بررسی کارایی این منابع بارش در پایش خشکسالی انجام پذیرفته است. به عنوان مثال در پژوهش‌هایی از داده‌های بارش NCEP/NCAR برای بررسی خشک‌سالی در ایران استفاده شد و تغییرپذیری زمانی نمایهٔ خشک‌سالی SPI به‌دست‌آمده از بارش NCEP/NCAR را با SPI به‌دست‌آمده از داده‌های مشاهده‌ای در سطح کشور مورد مقایسه قرارگرفت. نتیجهٔ این پژوهش‌ها نشان داد که تغییرات زمانی نمایه SPI به‌دست‌آمده از داده‌های بارش NCEP/NCAR هماهنگی خوبی با نمایهٔ SPI به‌دست‌آمده از داده‌های زمینی بارش در برخی مناطق کشور مانند شمال غرب ایران دارد ولی دقت این داده‌ها در بخش‌هایی از دامنه‌های جنوبی و شرقی زاگرس و دامنه‌های جنوبی البرز کم است(Raziei et al., ۲۰۱۱, Raziei et al., ۲۰۱۰, Raziei et al., ۲۰۰۹).

در بخش ارزیابی منابع بارش به صورت مستقیم نیز می‌توان به پژوهشی که به ارزیابی شش منبع بارش جهانی در سطح حوضه کارون بزرگ پرداخته شد اشاره کرد. در این پژوهش منابع بارشی متشکل از ERA-interim، APHRODITE، CHIRPS، PERSIANN، PERSIANN-CDRو TRMM-۳B٤۲ و ارزیابی‌ها در مقیاس زمانی روزانه بود. نتایج حاکی از این مساله بود که در سطح حوضه کارون بزرگ منابع بارشی APHRODITE و ERA-interim نسبت به دیگر منابع بارشی از دقت مناسبی برخوردار بوده و می‌توانند با تصحیح اریبی به عنوان جایگزینی برای ایستگاه‌های اندازه گیری در سطح حوضه انتخاب شوند. همچنین از دیگر نتایج این پژوهش می‌توان به این نکته اشاره کرد که از بین منابع بارش ماهواره‌ای نیز TRMM از عملکرد بهتری نسبت به دیگر منابع برخوردار بوده و منبع بارش CHIRPS بدترین عملکرد را در بین کل منابع بارشی دارد(رحمتی و مساح بوانی ۱۳۹۸). در پژوهشی دیگر که در سطح حوضه آبریز سفیدرود انجام پذیرفت عملکرد یکی از منابع بارشی ارزشمند به نام ERA-interim در گام‌های زمانی روزانه و ماهانه در سطح حوضه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از ارزیابی در سطح این حوضه و در دو مقیاس زمانی روزانه و ماهانه حاکی از آن بود که این منبع دارای همبستگی بالایی با ایستگاه‌های زمینی به ویژه در بخش‌های جنوبی، مرکزی و غربی حوضه است. همچنین از نظر آماره‌های طبقه‌بندی، منبع بارشیERA-interim در هر دو گام زمانی روزانه و ماهانه با دارا بودن مقادیر کم شاخص FAR (گزارش‌های اشتباه)، مقادیر بالای شاخص Accuracy(صحت پیش‌بینی‌های درست) و نیز مقدار بالا در تشخیص روزهای بارانی (POD) دارای عملکرد بسیار مناسبی می‌باشد و لذا توصیه می‌شود در حوضه‌های فاقد آمار و یا در مدلسازی‌های هیدرولوژیکی که نیازمند داده‌های بارشی صحیحی هستند از این منبع بارشی ارزشمند استفاده شود(عزیزیان و رمضانی ۱۳۹۷).

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-04-26]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.3.29]

با توجه به پیشینه تحقیق ارائه شده بررسی‌های انجام شده در سطح کشور حاکی از این است که منابع بارش جهانی هر چند به صورت مستقیم و غیر مستقیم مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند با این حال مطالعات اندکی در زمینه بررسی جامع این منابع بارش جهانی در برآورد میزان و شدت خشکسالی در سطح کشور انجام پذیرفته است. به همین دلیل هدف کلی این پژوهش بررسی جامع توانایی منبع بارش ERA-interim در برآورد میزان بارش و همچنین بررسی خشکسالی در سطح کشور است.

داده‌ها و روش کار

در این بخش نحوه ارزیابی مستقیم، داده‌های مورد استفاده، مقیاس مورد بررسی، شاخص‌های مورد استفاده و منطقه مورد مطالعه مورد بررسی قرار می‌گیرد.

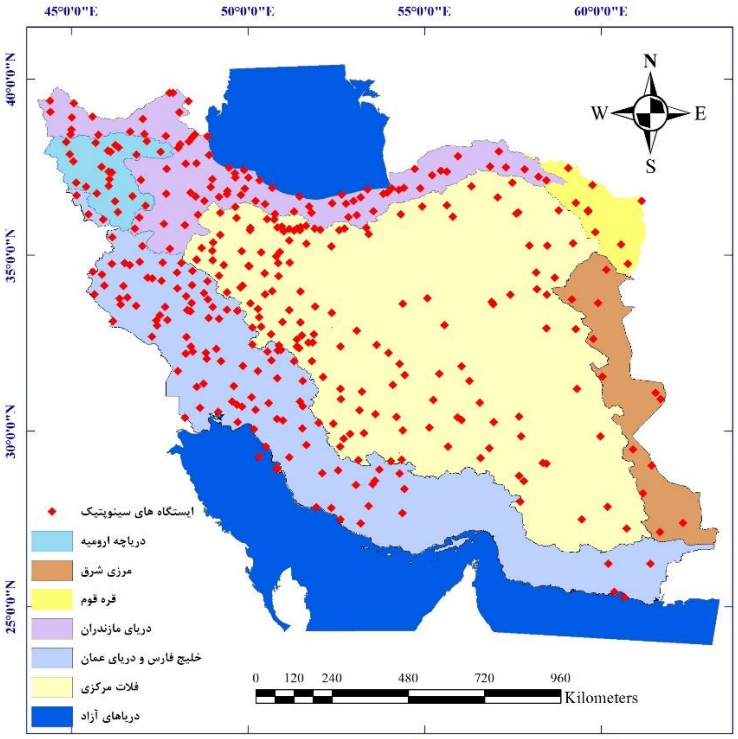
الف)قلمرو جغرافیایی مورد مطالعه

ایران در جنوب غربی آسیا ، بین ۲۵ تا ۴۰ درجه و ۲۴ تا ۶۴ درجه، هم مرز با خلیج فارس ، دریای عمان و دریای خزر ، بین عراق و پاکستان واقع شده است. ایران یکی از کشورهای کوهستانی جهان است. کوهها چندین حوضه وسیع یا فلات را محصور کرده‌اند که در آن سکونتگاه‌های اصلی کشاورزی و شهری واقع شده است. البرز و زاگرس رشته کوه اصلی هستند که به ترتیب از غرب به شرق و از شمال غربی تا جنوب شرقی کشور امتداد دارند. این رشته کوه‌ها مهمترین نقش را در توزیع زمانی و مکانی بارش دارند به طوری که مناطق شمالی و غربی ایران دارای آب و هوای نیمه مرطوب و مدیترانه ای است. در حالی که اقلیم‌های نیمه خشک تا بیش از حد خشک در مناطق مرکزی ایران حاکم است. این مناطق با تابستان‌های گرم و زمستان‌های سرد دارای آب و هوای قاره‌ای است که در آن میانگین سالانه دما از ۲۲ تا ۲۶ درجه سانتی‌گراد است. در حالی که در برخی مناطق کشور دمای هوا در تابستان به ۴۵ درجه سانتی‌گراد می رسد. بارش نقش مهمی در توصیف تغییرات اقلیمی دامنه ای و مکانی در ایران دارد. در بیشتر قسمت‌ها ، دوره بارندگی از ماه نوامبر آغاز می‌شود و در ماه مه به پایان می‌رسد و در ماه‌های باقی مانده وضعیت خشک غالب است. میانگین بارندگی سالانه در ایران ۲۴۰ میلی‌متر است. اما این مقدار در سواحل خزر و دامنه کوه البرز با ۴۸۰ میلی‌متر در دامنه کوه زاگرس به حدود ۱۸۰۰ میلی‌متر می‌رسد. براساس مطالعات توپوگرافی محلی، در دشت‌های مرکزی و داخلی کشور، میزان بارش توصیف شده تا حدود ۱۰۰ میلی‌متر کاهش می‌یابد(Dinpashoh et al., ۲۰۰٤).

در شکل (۲) منطقه مورد مطالعه که کل سطح کشور ایران مد نظر بوده به تفکیک حوضه‌های آبریز اصلی کشور که بررسی‌ها در آن‌ها انجام پذیرفته است نشان داده شده و همچنین پراکنش ایستگاه‌های سینوپتیک نیز در سطح کشور و حوضه‌های مربوطه نشان داده شده است. لازم به ذکر است که دوره آماری مورد استفاده در این پژوهش ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۶ بوده که همه ایستگاه‌های موجود در شکل این محدوده زمانی را پوشش می‌دهند. دلیل انتخاب این محدوده زمانی عدم همگنی ایستگاه‌های سینوپتیک در سطح کشور از لحاظ زمانی می‌باشد که دوره‌ای انتخاب شد تا بتوان از نهایت ایستگاه‌های سینوپتیک در سطح کشور بهره برد.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-04-26]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.3.29]



شکل۲: منطقه مورد مطالعه و پراکنش ایستگاه‌های سینوپتیک مورد استفاده در پژوهش

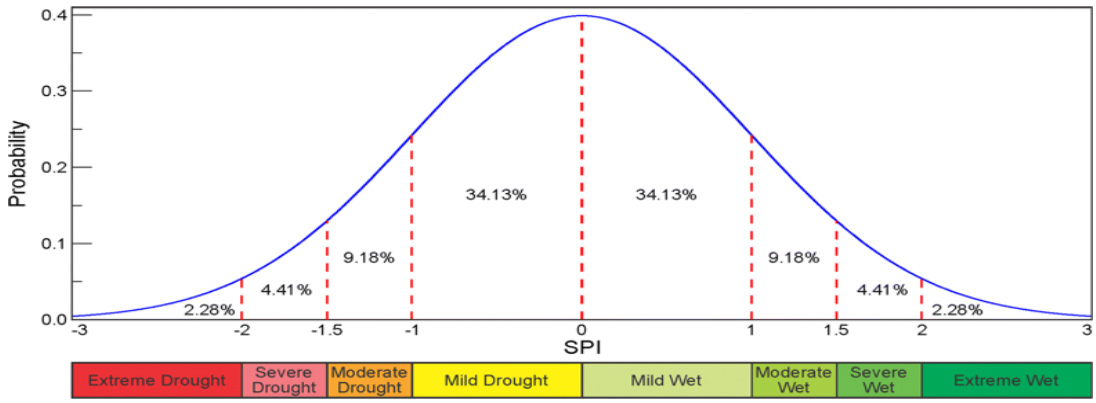
ب) روش کار

- **شاخص خشکسالی SPI**

برای بررسی خشکسالی در منطقه مورد مطالعه از نمایه SPI استفاده شد که برای محاسبه آن تنها به داده‌های بارش ماهانه منابع بارش نیاز است نمایه SPI به منظور کمی کردن مقدار کمبود بارش در مقیاس‌های زمانی گوناگون طراحی شده است تا به کمک آن تاثیر میزان کمبود بارش را بر روی آبهای زیرزمینی، منابع ذخیره آب، رطوبت خاک، توده-های برفی و جریانات سطحی بررسی شود. شرایط رطوبتی خاک به ناهنجاری های کوتاه مدت بارش بسیار حساس می باشد، در حالی که آبهای زیرزمینی، جریان های سطحی و منابع ذخیره آب به ناهنجاری های طولانی مدت بارش واکنش نشان می دهند. از این رو محاسبه نمایه SPI را برای مقیاس های زمانی یک، سه، شش، ۱۲، ۲۴، ۳۶ و ۴۸ ماهه پیشنهاد شده است که با استفاده از داده‌های بلندمدت بارش یک ایستگاه (یا یک سلول بارش در این پژوهش) قابل محاسبه می باشد(McKee et al., ۱۹۹۳). جهت استخراج شاخص SPI محیط برنامه‌نویسی R و با استفاده کتاب-خانه SPIGA استفاده شده است. با استفاده از این کتاب‌خانه می‌توان پارامترهای آلفا و بتا را با توجه به الگوریتم ژنتیک بهبود بخشید و بهینه‌ترین میزان این پارامترها را به دست آورد با این حال در پژوهش حاضر صرفا تمرکز بر روی ارزیابی توانایی منبع بارش Era-interim بوده و شاخص اولیه مورد استفاده قرار گرفته است و از الگوریتم ژنتیک استفاده نشده است. در شکل (۳) محدوده تغییرات شاخص SPI قابل مشاهده است. با توجه به شکل مشاهده می‌شود که مقادیر بالای شاخص SPI نشان‌دهنده وجود ترسالی و مقادیر پایین آن نشان‌دهنده خشسالی با درجات متفاوت می‌باشد به این صورت که محدوده تغییرات این شاخص از ۲- تا ۲+ می‌باشد. همچنین احتمال وقوع هر کدام از وقایع

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-04-26]
[DOI: 10.29252/jsaeh.7.3.29]

مربوطه در طی دوره آماری نیز در شکل نشان داده شده است. یا به صورت دیگر در جدول ۱ محدوده تغییرات و طبقه‌بندی شاخص SPI به نوع دیگری نشان داده شده است.



شکل۳: احتمال وقوع خشسالی و ترسالی با توجه به شاخص SPI

- **منابع بارش مورد استفاده در پژوهش**

- **ایستگاه‌های سینوپتیک**

در این پژوهش از ایستگاه‌های سینوپتیک موجود در سطح کشور که دارای دوره آماری ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۶ بودند جهت ارزیابی استفاده شده است از بین تمامی ایستگاه‌های موجود در سطح کشور ۳۸۲ ایستگاه که طول دوره آماری مذکور را پوشش می‌دادند انتخاب و جهت مقایسه با منبع بارش Era-interim استفاده شدند.

- **منبع بارش Era-interim**

منبع بارش Era-interim یک محصول بارشی بازتحلیل شده و یا تحلیل مجدد می‌باشد که توسط مرکز پیش‌بینی-های میان مدت جوی اروپایی ارائه می‌شود. در واقع "تحلیل مجدد" یک دیدگاه سیستماتیک برای تولید مجموعه‌ای از داده‌های اقلیمی دوره آماری برای استفاده در پژوهش و پایش اقلیم می باشد. داده‌های واکاوی یا تحلیل مجدد با استفاده از یک طرح‌واره ثابت (و از نظر دینامیکی سازگار) در داده‌گواری داده‌ها (Data Assimilation) و مدل‌ها که در آن از تمامی داده‌های در دسترس مشاهداتی در بازه زمانی ۶ تا ۱۲ ساعت دوره مورد تحلیل استفاده می‌شود، به وجود می‌آیند. یکی از مولفه‌هایی که در این فرآیند تغییر می‌کند، داده‌های دیدبانی است. این تغییر در داده‌های ورودی غیر قابل اجتناب بوده زیرا هر روزه تعداد زیادی از انواع ورودی‌های هواشناسی شامل داده‌های دریافتی از رادیو سوند، ماهواره، شناورها، هواپیما و کشتی به شبکه ایستگاه‌های کره‌زمین افزوده می‌شود. در حال حاضر تخمین زده می‌شود که حدود ۷ تا ۹ میلیون داده‌های دیدبانی شده در هر گام زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرند. به همین دلیل در فاصله زمانی تولید هر سری از داده‌های واکاوی تغییرات اندکی در رفتار اقلیمی نقاط شبکه‌ای داده‌های واکاوی بروز می‌کند. از طرفی از آنجا که در فرآیند داده‌گواری از پیش‌بینی‌های عددی خیلی کوتاه‌مدت نیز استفاده می شود، لذا با بهبود و ارتقاء نسخه مدل‌های پیش‌بینی عددی، داده‌های واکاوی نیز بهبود می یابند. در این پژوهش از نسخه اصلی این محصول بدون درون‌یابی که در مقیاس مکانی ۰.۷۵ درجه در ۰.۷۵ می‌باشد استفاده شده است(Dee et al., ۲۰۱۱).

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-04-26]
[DOI: 10.29252/jsaeh.7.3.29]

- **شاخص‌های ارزیابی**

در این پژوهش از دو شاخص ضریب همبستگی پیرسون و همچنین شاخص نرمال شده میانگین مربعات خطا(NRMSE) استفاده شده است. در جدول (۲) مشخصات مربوط به هر دو شاخص مورد استفاده در پژوهش نشان داده شده است. محدوده تغییرات ضریب همبستگی ۱- تا ۱+ می‌باشد و هرچه قدر نزدیک به یک باشد نشان‌دهنده عملکرد بهتر منبع بارشی در برآورد میزان بارش و همچنین روند افزایشی و کاهشی آن است. در این شاخص مقادیر زیر ۱۰ درصد نشان دهنده دقیق بودن منبع بارشی، مقادیر بین ۱۰ تا ۲۰ نشان‌دهنده مناسب بودن منبع بارش، ۲۰ تا ۳۰ درصد نشان دهنده دقت متوسط و بالای ۳۰ درصد نشان‌دهنده ضعیف بودن منبع بارش در برآورد میزان بارش می‌باشد.

جدول ۲: مشخصات مربوط به شاخص‌آماری مورد استفاده در پژوهش

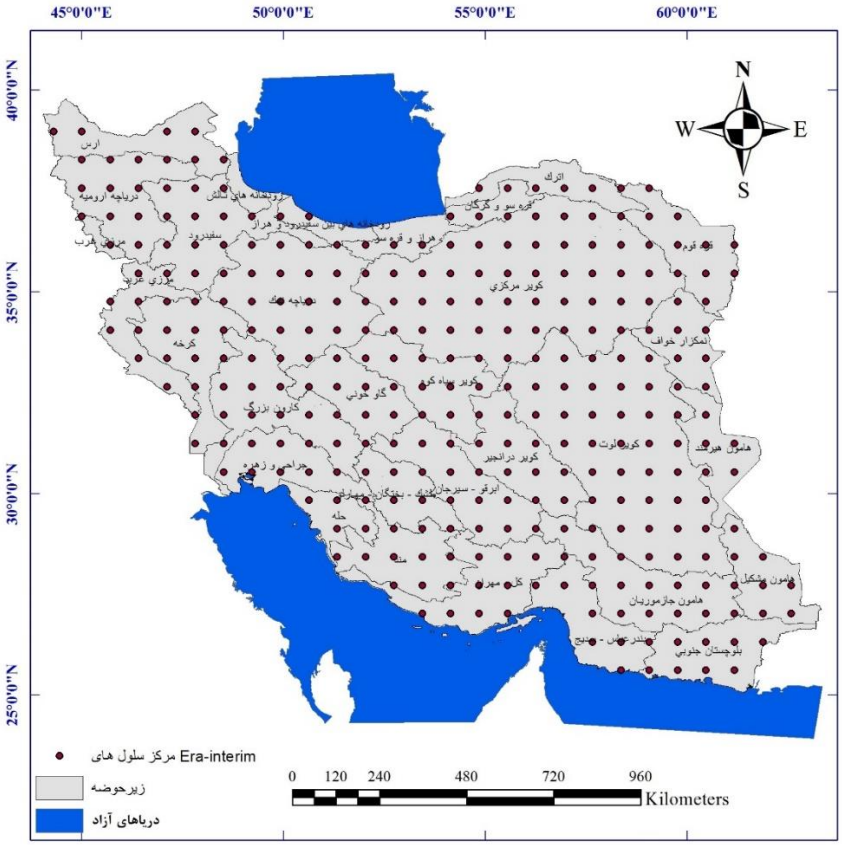
No.	Measure	Equation
1	Normalized root mean square	$NRMSE=\frac{\sqrt{\frac{\sum_{1}^{N}(P_i-O_i)}{N}}}{O_{max}-O_{min}}$
2	Correlation Coefficient	$CC=\left[\frac{\sum_{1}^{N}(O_i-O_{Ave})(P_i-P_{Ave})}{\sqrt{\sum_{1}^{N}(O_i-O_{Ave})^2\sqrt{\sum_{1}^{N}(P_i-P_{Ave})^2}}}\right]$

- **نحوه ارزیابی یا مقایسه منبع بارش Era-interim با داده‌های سینوپتیک موجود و برآورد شاخص SPI**

ارزیابی منبع بارش Era-interim با داده‌های مشاهداتی به این صورت بوده که ابتدا سلول‌های مربوط به این منبع بارش در سطح کشور استخراج شده و میانگین بارش سلول‌های موجود در هر زیرحوضه با میانگین بارش ایستگاه‌های موجود در زیرحوضه مربوطه مورد مقایسه قرار گرفت. شکل (۴) پراکنش مکانی سلول‌های Era-interim را در سطح کشور نشان می‌دهد با توجه به شکل به عنوان مثال حوضه سفیدرود دارای ۱۱ سلول بوده که میانگین بارش این ۱۱ سلول به عنوان بارش میانگین حوضه در نظر گرفته شده و با بارش میانگین ایستگاه‌های سینوپتیک موجود در سطح حوضه مورد بررسی قرار گرفته است. بخش بعدی مربوط به ارزیابی منبع بارش Era-interim با توجه به شاخص SPI می‌باشد در این بخش ارزیابی‌ها در مقیاس حوضه‌ای و ۶ حوضه آبریز اصلی کشور انجام پذیرفته است.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-04-26]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.3.29]



شکل۴: پراکنش سلول‌های Era-interim در سطح زیرحوضه‌های مورد بررسی

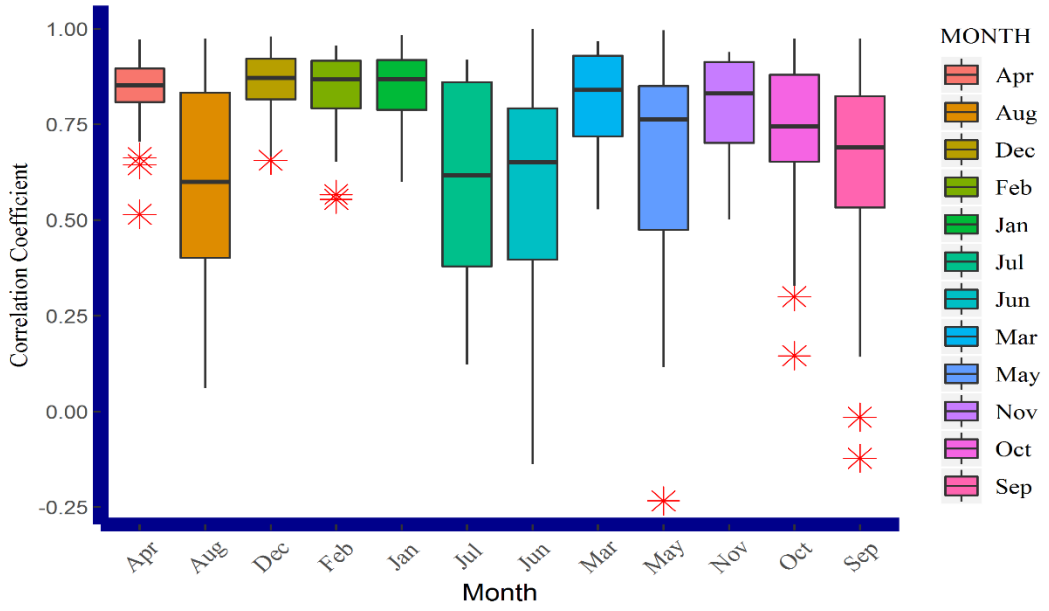
شرح و تفسیر نتایج

در این بخش به ارائه نتایج مربوطه پرداخته می‌شود، نتایج به این صورت ارائه شده که در ابتدا یک مقایسه و یا ارزیابی اولیه کلی برای منبع بارش Era-interim در سطح زیرحوضه‌های کشور انجام پذیرفته است. در بخش بعدی میانگین بارش درازمدت دو منبع بارش ایستگاه‌های سینوپتیک و منبع بارش Era-interim مورد بررسی قرار گرفته و در نهایت نتایج مربوط به شاخص خشکسالی SPI در مقیاس‌های زمانی ۳ ماهه، ۶ ماهه و ۱۲ ماهه برای شش حوضه آبریز اصلی کشور ارائه شده است.

- **نتایج مربوط به مقایسه منبع بارش Era-interim و داده‌های مشاهداتی در مقیاس حوضه‌ای**
- **ضریب همبستگی**

شکل (۵) پراکنش مکانی ضریب همبستگی ماهانه در ۳۰ زیر حوضه در سطح کشور ایران می‌باشد. با توجه به شکل مشاهده می‌کنید که منبع بارش Era-interim در تمامی ماه‌های مورد بررسی از عملکرد مناسبی برخوردار بوده و میزان ضریب همبستگی بین این منبع بارش و داده‌های مشاهداتی در سطح کشور در محدوده ۰.۴۵ تا ۰.۹ برای ماه‌های مختلف متغیر می‌باشد. با توجه به شکل مشاهده می‌شود که ضریب همبستگی در ماه‌های پربارش دسامبر، فوریه و ژانویه بیشترین میزان را داشته و برای تمامی حوضه‌های مورد بررسی بالای ۰.۸ می‌باشد اکتبر و نوامبر و مارس نیز که جز ماه‌های پربارش در سطح کشور می‌باشند همین شرایط را داشته با این تفاوت که بهترین عملکرد در بین ماه‌های پربارش مربوط به سه ماه دسامبر، فوریه و ژانویه می‌باشد.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-04-26]
[DOI: 10.29252/jsaeh.7.3.29]



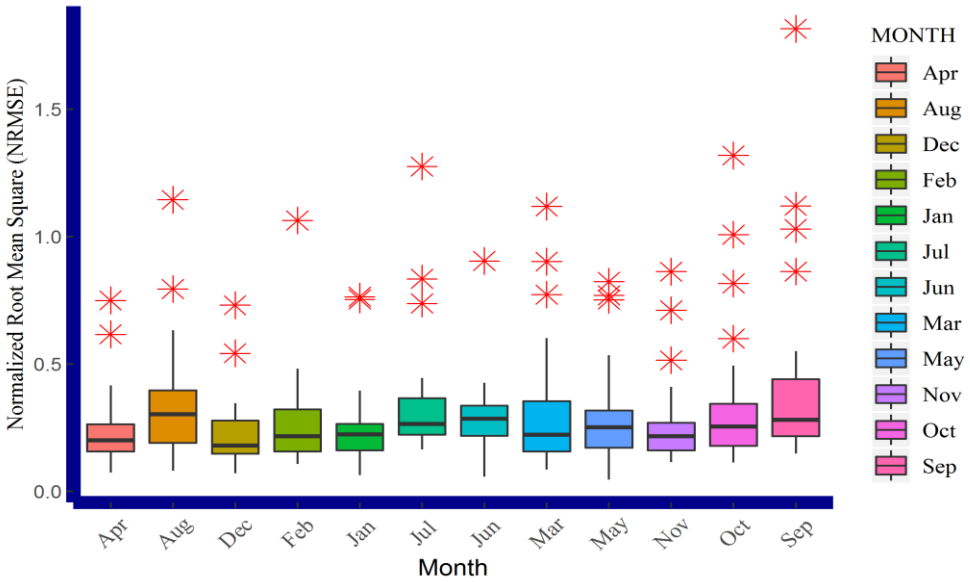
شکل۵: پراکنش مکانی ضریب همبستگی پیرسون در سطح زیرحوضه‌های کشور در ماه‌های مختلف مورد بررسی

- **شاخص NRMSE**

شاخص بعدی NRMSE می‌باشد که نتایج مربوط به این شاخص در شکل (۶) آورده شده است. در بخش مواد و روش‌ها محدوده تغییرات این شاخص توضیح داده شد. با توجه به شکل (۶) می‌توان گفت که منبع بارش Era-interim در اکثر ماه‌های مورد بررسی از عملکرد قابل قبولی برخوردار می‌باشد به طوری که میزان شاخص NRMSE در ماه‌های مورد اشاره زیر ۰.۲ می‌باشد که این ناشی از عملکرد مناسب این منبع بارشی می‌باشد. به عنوان مثال در سه ماه پربارش دسامبر، فوریه و ژانویه میزان این شاخص در سطح مورد بررسی زیر ۰.۲ بوده که بهترین عملکرد این منبع بارش در این سه ماه می‌باشد همچنین بدترین عملکرد نیز مربوط به ماه‌های سپتامبر، آگوست و جولای می‌باشد در حالت کلی می‌توان گفت که منبع بارش Era-interim در ماه‌های پربارش از عملکرد مناسبی در مقیاس مورد بررسی داشته و در ماه‌های کم‌بارش عملکرد مناسبی ندارد.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-04-26]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.3.29]



شکل۶: پراکنش مکانی شاخص NRMSE در سطح کشور در زیر حوضه‌های مورد بررسی در ماه‌های مختلف

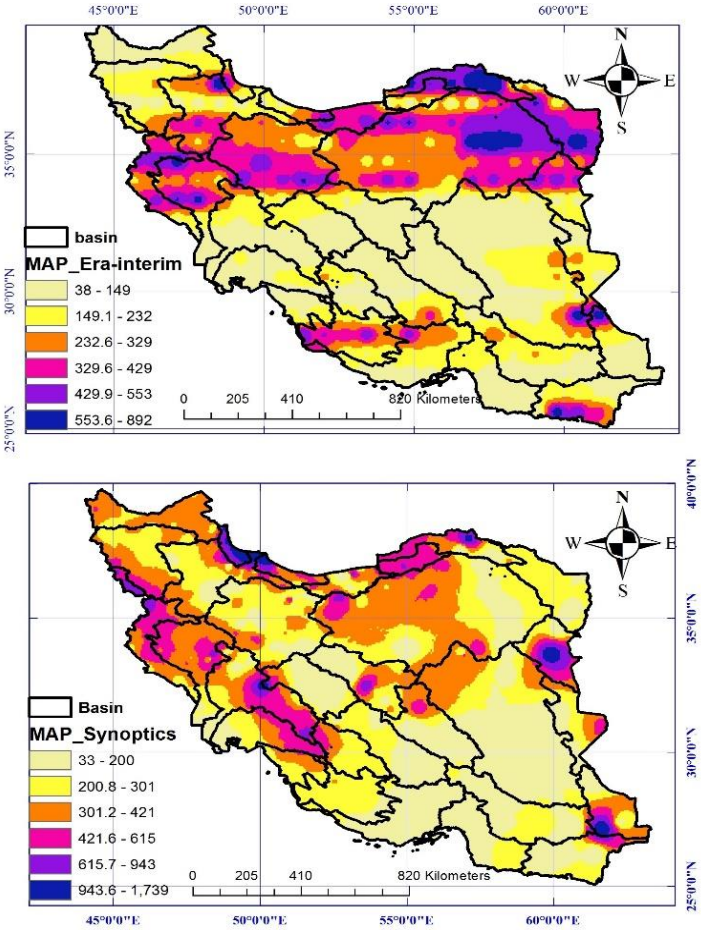
- **میانگین بارش درازمدت سالانه (MAP)**

شکل (۷) نتایج مربوطه به بارش درازمدت منبع بارش Era-interim و ایستگاه‌های سینوپتیک را در طی دوره ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۶ در سطح کشور نشان می‌دهد با توجه به شکل بیشترین میزان بارش درازمدت برای منبع Era-interim ۸۹۲ میلی‌متر می‌باشد که تفاوت زیادی با بارش درازمدت ثبت شده توسط ایستگاه‌های سینوپتیک دارد به همین دلیل می‌توان گفت که منبع بارش Era-interim در برآورد بارش درازمدت سالانه در سطح کشور دارای کم‌برآوردی می‌باشد. به عنوان مثال در حوضه آبریز کارون که یکی از مهمترین زیرحوضه‌های سطح کشور می‌باشد میزان بارش ثبت شده برای منبع بارش Era-interim در محدوده ۱۵۰ تا ۲۳۲ می‌باشد در حالی که این میزان برای ایستگاه‌های سینوپتیک موجود در سطح حوضه تا ۶۱۵ میلیمتر نیز می‌رسد. در حالت کلی می‌توان گفت که منبع بارش Era-interim در برآورد بارش درازمدت سالانه در سطح کشور از عملکرد مناسبی برخوردار نیست.

در حالت کلی نتایج حاکی از این مساله است که منبع بارش Era-interim در مقیاس ماهانه در سطح کشور از عملکرد مناسبی برخودار بوده و به عنوان جایگزینی برای ایستگاه‌های اندازه‌گیری بارش در سطح زمین همچون ایستگاه‌های سینوپتیک می‌توان از این منبع بارش استفاده کرد. با توجه به ارزیابی‌های صورت گرفته و شاخص‌های ضریب همبستگی پیرسون و NRMSE این منبع بارش از دقت مناسبی در برآورد بارش ماهانه در دوره آماری مذکور برخوردار بوده به همین جهت می‌توان از این منبع بارش در مطالعات بعدی همچون برآورد شاخص خشکسالی و یا دیگر مطالعات منابع آبی بهره برد.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-04-26]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.3.29]



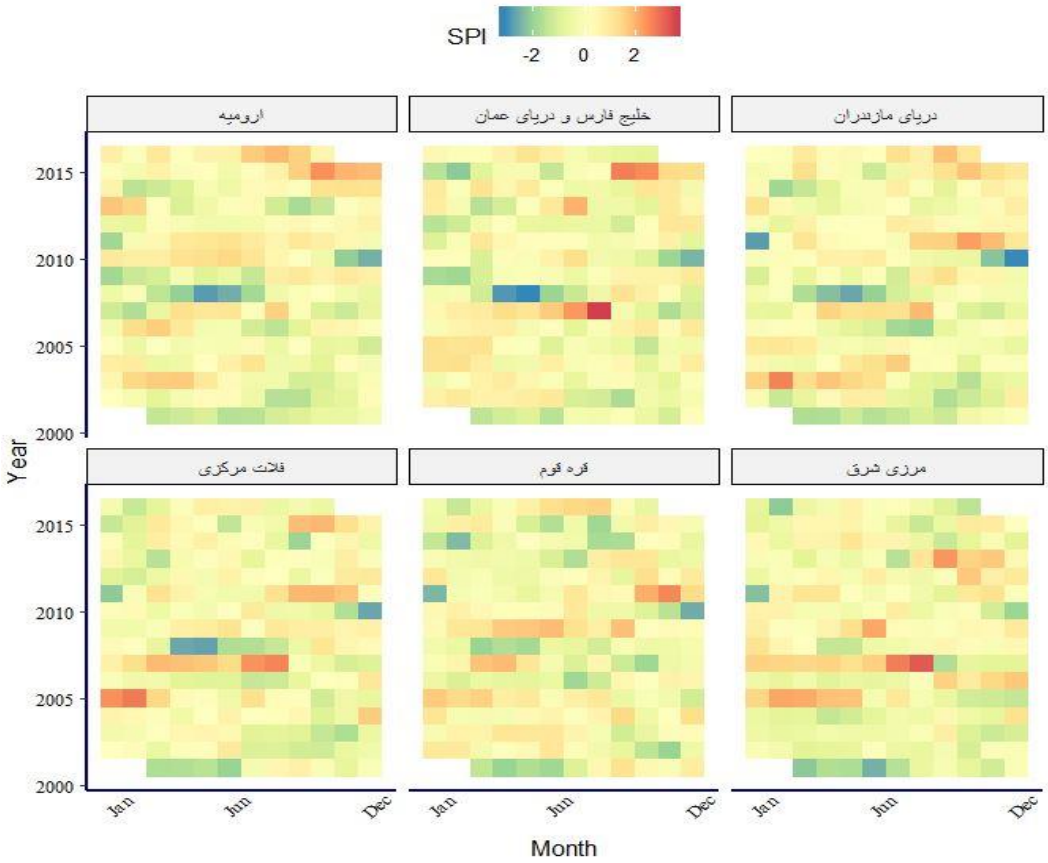
شکل۷: بارش درازمدت سالانه در سطح کشور برای دوره آماری ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۶

- **نتایج مربوط به شاخص SPI**

در این بخش شاخص SPI در مقیاس زمانی ۳ ماهه، ۶ ماهه و ۱۲ ماهه با استفاده از منبع بارش Era-interim در حوضه‌های آبریز اصلی کشور به دست آمد که در شکل ۸ نتایج مربوط به SPI سه ماهه مشاهده می‌شود. با توجه به شکل مشاهده می‌شود که در سال‌های اولیه یعنی سال ۲۰۰۱تا ۲۰۰۴ اکثر حوضه‌های مورد بررسی دارای خشکسالی ملایم بودند و یا به عبارت بهتر در این دوره کشور در یک دوره خشکسالی ملایم بود. بعد از سال ۲۰۰۵ در سال ۲۰۰۷ تقریبا تمامی حوضه‌های آبریز اصلی کشور در محدوده ترسالی ملایم تا شدید بودند سال ۲۰۰۷ را می‌توان یک نقطه انتقالی در نظر گرفت به این صورت که بعد از این سال بلافاصله در سال ۲۰۰۸ چهار حوضه آبریز دریاچه ارومیه، خلیج فارس و دریای عمان، دریای مازندران و فلات مرکزی در دوره خشکسالی شدید قرار گرفته و تقریبا می‌توان گفت که کل کشور ایران در دوره خشکسالی شدید بودند. دو حوضه دیگر نیز در این سال در محدوده خشکسالی ملایم قرار داشتند.

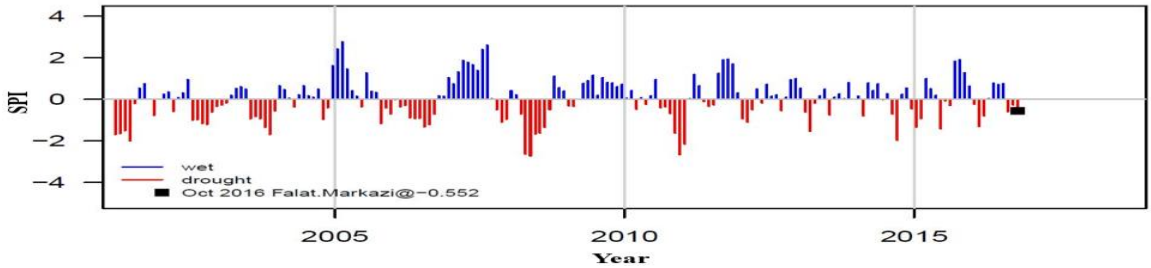
[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-04-26]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.3.29]



شکل۸: شاخص SPI سه ماهه در حوضه آبریز اصلی کشور به تفکیک ماه‌ها وسال‌های مورد بررسی

شکل (۹) یک نمونه از سری زمانی SPI سه ماهه که مربوط به حوضه آبریز فلات مرکزی می‌باشد را نشان می‌دهد با توجه به شکل وقوع ترسالی و خشکسالی در سال‌ها و ماه‌های مختلف قابل رویت است. به عنوان مثال در سال ۲۰۰۷ شاهد وقوع ترسالی شدید در سطح حوضه می‌باشیم که بلافاصله بعد از آن در سال ۲۰۰۸ یک خشکسالی شدید در سطح حوضه به وقوع پیوسته است.

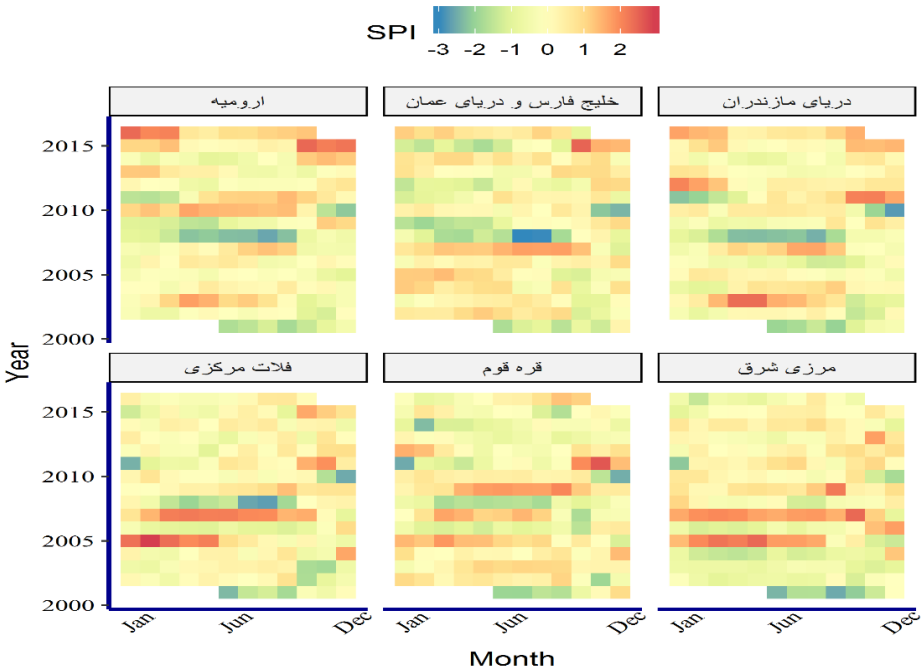


شکل۹: سری زمانی شاخص SPI سه ماهه برای حوضه آبریز فلات مرکزی طی دوره آماری ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۶

در شکل (۱۰) نتایج مربوط به شاخص SPI شش ماهه در سطح حوضه‌های آبریز اصلی کشور آورده شده است با توجه به شکل مشاهده می‌شود که در این مقیاس در سال‌های آغازین تقریبا در سطح کشور خشکسالی ملایم تا شدید مشاهده می‌شود همچنین در سال‌های پایانی نیز کشور در یک دوره ترسالی ملایم تا شدید قرار دارد. همچنین با توجه به شکل مشاهده می‌شود که در سال ۲۰۰۷ کشور در محدوده ترسالی ملایم تا شدید قرار داشته و بعد از این سال

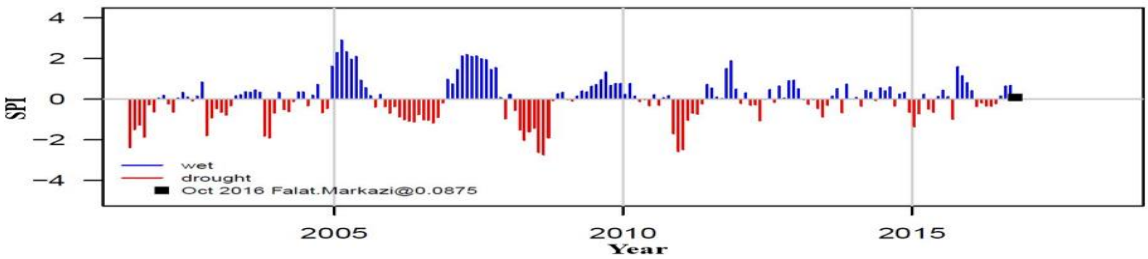
[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-04-26]
[DOI: 10.29252/jsaeh.7.3.29]

بلافاصله یک دوره خشکسالی شدید تا ملایم در سطح کشور به وقوع پیوسته است که این نتایج با نتایج بخش قبل مطابقت دارد. در واقع با توجه به این دو مقیاس زمانی می‌توان گفت که سال ۲۰۰۷ یک نقطه انتقالی از ترسالی به خشکسالی می‌باشد.



شکل۱۰: شاخص SPI شش ماهه در حوضه آبریز اصلی کشور به تفکیک ماه‌ها وسال‌های مورد بررسی

شکل (۱۱) نشان‌دهنده سری زمانی مربوط به شاخص SPI شش ماهه برای حوضه آبریز فلات مرکزی می‌باشد. با توجه به شکل وقوع خشکسالی و ترسالی در سطح حوضه آبریز نشان داده شده است. به عنوان مثال حوضه آبریز فلات مرکزی در سال ۲۰۰۷ یک ترسالی شدید و بلافاصله بعد از آن یک خشکسالی شدید را تجربه کرده است.



شکل۱۱ : سری زمانی شاخص SPI شش ماهه برای حوضه آبریز فلات مرکزی طی دوره آماری ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۶

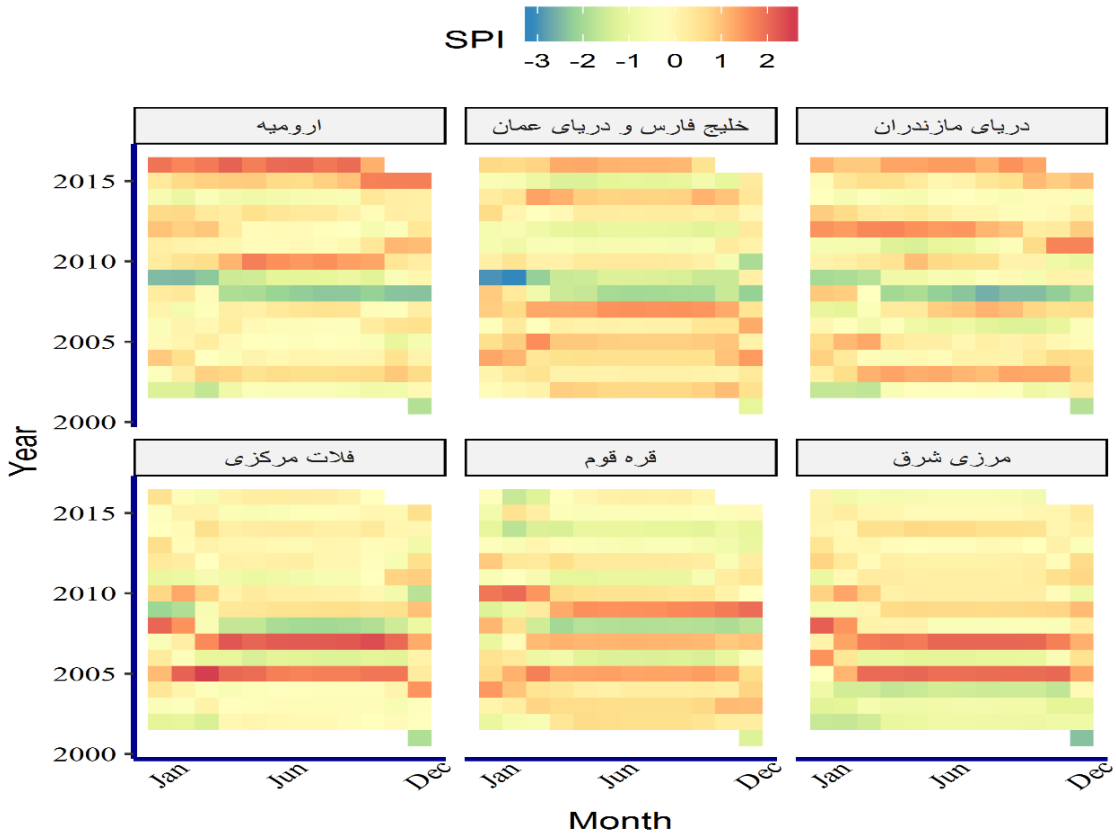
در نهایت در شکل (۱۲) نتایج مربوط به شاخص SPI ۱۲ ماهه را در سطح کشور برای حوضه‌های آبریز اصلی مشاهده می‌کنید با توجه به شکل می‌توان گفت که در این مقیاس زمانی بررسی شاخص SPI نشان‌دهنده این مساله است که شدت ترسالی و همچنین تعداد دفعات وقوع ترسالی در سال‌های مختلف افزایش یافته به نحوی که به جز سال‌های آغازین و سال ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸ آن هم در برخی از حوضه‌های آبریز در این مقیاس زمانی شاخص SPI نشان-

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-04-26]
[DOI: 10.29252/jsaeh.7.3.29]

دهنده این مساله است که در دوره زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۶ حوضه‌های آبریز اصلی کشور شاهد ترسالی‌های متعددی می‌باشند.

شکل (۱۳) نیز نشان‌دهنده سری زمانی شاخص SPI در مقیاس ۱۲ ماهه در سطح حوضه آبریز فلات مرکزی می‌باشد. با توجه به شکل مشاهده می‌شود که شدت ترسالی و همچنین خشکسالی افزایش یافته است به این صورت که خشسکالی‌ها و ترسالی‌های ملایم تا نرمال تبدیل به خشسکالی و ترسالی شدید شده‌اند.

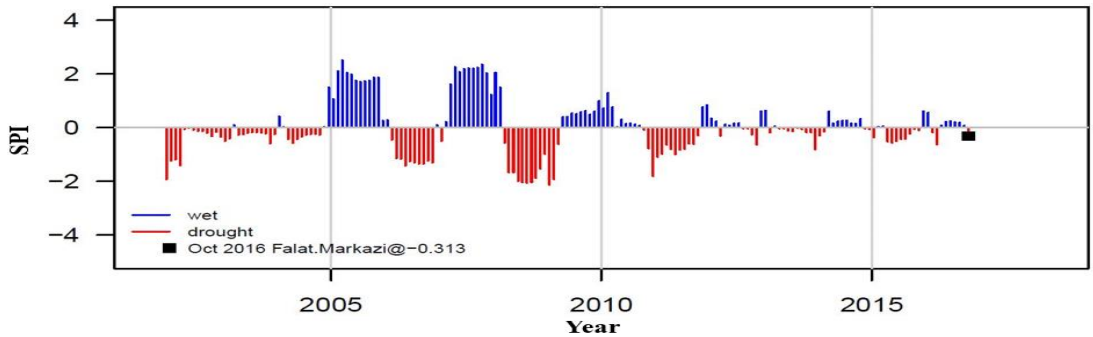
با مقایسه نتایج مربوط به شاخص SPI در مقیاس‌های زمانی مختلف می‌توان گفت که هر چه قدر مقیاس زمانی افزایش یافته شدت و دفعات تکرار خشکسالی در طی دوره مورد بررسی برای حوضه‌های آبریز مختلف در سطح کشور افزایش یافته است به نحوی که در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه افزایش شدت ترسالی به روشنی در شکل (۱۲) قابل مشاهده می‌باشد. همچنین می‌توان گفت که خشکسالی‌ها و ترسالی‌های ملایم نیز تا حدودی شدیدتر شده و شدت آن‌ها افزایش یافته است.



شکل۱۲: شاخص SPI ۱۲ ماهه در حوضه آبریز اصلی کشور به تفکیک ماه‌ها وسال‌های مورد بررسی

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-04-26]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.3.29]



شکل۱۳ : سری زمانی شاخص SPI ۱۲ ماهه برای حوضه آبریز فلات مرکزی طی دوره آماری ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۶

نتیجه‌گیری

با توجه به ارزیابی‌های صورت گرفته در بخش‌های قبلی می‌توان گفت که منبع بارش Era-interim می‌تواند به عنوان یک منبع بارش جایگزین برای ایستگاه‌های سینوپتیک و باران‌سنجی در طیف وسیعی از مطالعات منابع آبی استفاده شود. با این حال به دلیل اریب سیستماتیک موجود در این نوع محصولات نیاز است که قبل از استفاده از این محصولات یا منابع بارشی از یک روش تصحیح اریبی استفاده شود. در این پژوهش از شاخص خشکسالی SPI که صرفا بر اساس میزان بارش می‌باشد استفاده شده است. نتایج حاکی از این بود که در حالت کلی مقیاس زمانی با شدت خشکسالی رابطه مستقیم داشته به این صورت که هر چقدر مقیاس زمانی شاخص SPI افزایش پیدا می‌کرد شدت خشکسالی افزایش پیدا می‌کرد

با توجه به این مساله که شاخص SPI صرفا میزان بارش را در نظر می‌گیرد به منظور بررسی بهتر وضع خشکسالی و ترسالی در سطح کشور از دیگر شاخص‌های خشکسالی که پارامترهای دیگری همچون دما و میزان تبخیر و... نیز در آن‌ها دخالت دارد می‌توان استفاده کرد، به همین دلیل توصیه می‌شود در مطالعات بعدی قبل از انتخاب شاخص خشکسالی یک ارزیابی کلی در انتخاب نوع شاخص خشکسالی صورت پذیرد. همچنین در این پژوهش صرفا منبع بارش Era-interim به عنوان منبع بارش شبکه‌بندی شده جهت بررسی وضعیت خشکسالی یا ترسالی در سطح کشور انتخاب شد در پژوهش‌های آتی می‌توان چندین منبع بازتحلیل شده و یا ماهواره‌ای که تفکیک مکانی و زمانی بالایی دارند را نیز جهت بررسی وضعیت خشکسالی و ترسالی در سطح کشور مورد استفاده قرار داد و در نهایت بهترین منبع جهت انجام از بین منابع جهت انجام پژوهش استفاده کرد.

منابع

رحمتی، اکبر؛ مساح بوانی، علیرضا. ارزیابی پایگاه داده های جهانی بارش برای استفاده در مدلهای فیزیکی. مطالعه موردی :حوزه آبریز کارون، *تحقیقات منابع آب ایران*، **۱۵(۱)**: ۱۱۰-۱۲۰.

عزیزیان، اصغر؛ رمضانی اعتدالی، هادی. ارزیابی عملکرد داده‌های بازتحلیل شده Era-Interim در تخمین بارش روزانه و ماهانه. *تحقیقات آب و خاک ایران*، **۵۰(۴)**: ۷۷۷-۹۱.

DEE, D. P.; UPPALA, S. ;SIMMONS, A.; BERRISFORD, P.; POLI, P.;KOBAYASHI, S.; ANDRAE, U.; BALMASEDA, M.; BALSAMO, G. & BAUER, D. P. ۲۰۱۱. The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system. *Quarterly Journal of the royal meteorological society*, **۱۳۷:** ۵۵۳-۵۹۷.

DERIN, Y.; ANAGNOSTOU, E.; BERNE, A.; BORGA, M.; BOUDEVILLAIN, B.;BUYTAERT, W.; CHANG, C.-H.;DELRIEU, G.; HONG, Y. & HSU, Y. C. ۲۰۱۶. Multiregional satellite precipitation products evaluation over complex terrain. *Journal of Hydrometeorology*, **۱۷:** ۱۸۱۷-۱۸۳۶.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-04-26]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.3.29]

DINPASHOH, Y.; FAKHERI-FARD, A.; MOGHADDAM, M.; JAHANBAKHSH, S. & MIRNIA, M. ۲۰۰٤. Selection of variables for the purpose of regionalization of Iran's precipitation climate using multivariate methods. *Journal of Hydrology,* **۲۹۷:** ۱۰۹-۱۲۳.

DUAN, Z.; LIU, J.; TUO, Y.; CHIOGNA, G. & DISSE, M. ۲۰۱٦. Evaluation of eight high spatial resolution gridded precipitation products in Adige Basin (Italy) at multiple temporal and spatial scales. *Science of the Total Environment,* **۵۷۳:** ۱۵۳٦-۱۵۵۳.

GOLIAN, S.; JAVADIAN, M. & BEHRANGI, A. ۲۰۱۹. On the use of satellite, gauge, and reanalysis precipitation products for drought studies. *Environmental Research Letters*.

HÉNIN, R.; LIBERATO, M.; RAMOS, A. & GOUVEIA, C. ۲۰۱۸. Assessing the Use of Satellite-Based Estimates and High-Resolution Precipitation Datasets for the Study of Extreme Precipitation Events over the Iberian Peninsula. *Water,* **۱۰(۱۱):** ۱٦۸۸

LAI, C.; ZHONG, R.; WANG, Z.; WU, X.; CHEN, X.; WANG, P. & LIAN, Y. ۲۰۱۹. Monitoring hydrological drought using long-term satellite-based precipitation data. *Science of the total environment,* **٦٤۹:** ۱۱۹۸-۱۲۰۸.

MCKEE, T. B.; DOESKEN, N. J. & KLEIST, J. The relationship of drought frequency and duration to time scales. Proceedings of the ۸th Conference on Applied Climatology, ۱۹۹۳. *American Meteorological Society Boston*, **MA**: ۱۷۹-۱۸۳.

RAZIEI, T.; BORDI, I.; PEREIRA, L. & SUTERA, A. ۲۰۱۰. Space-time variability of hydrological drought and wetness in Iran using NCEP/NCAR and GPCC datasets. *Hydrology and Earth System Sciences,* **۱٤:** ۱۹۱۹-۱۹۳۰.

RAZIEI, T.; BORDI, I. & PEREIRA, L. S. ۲۰۱۱. An application of GPCC and NCEP/NCAR datasets for drought variability analysis in Iran. *Water resources management,* **۲۵**: ۱۰۷۵-۱۰۸٦.

RAZIEI, T.; SAGHAFIAN, B.; PAULO, A. A.; PEREIRA, L. S. & BORDI, I. ۲۰۰۹. Spatial patterns and temporal variability of drought in western Iran. *Water Resources Management,* **۲۳:** ٤۳۹.

Shah, R; Mishra, V. Evaluation of the reanalysis products for the monsoon season droughts in India. *Journal of Hydrometeorology*. **۱۵(٤):** ۱۵۷۵-۹۱.

TAN, M. ;IBRAHIM, A.; DUAN, Z.;CRACKNELL, A. & CHAPLOT, V. ۲۰۱۵. Evaluation of six high-resolution satellite and ground-based precipitation products over Malaysia. *Remote Sensing,* **۷:** ۱۵۰٤-۱۵۲۸.

WANG, F.; YANG, H.; WANG, Z.; ZHANG, Z. & LI, Z. ۲۰۱۹. Drought evaluation with CMORPH satellite precipitation data in the Yellow River Basin by using Gridded Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. *Remote Sensing,* **۱۱**: ٤۸۵.

XU, X.; FREY, S. K.; BOLUWADE, A.; ERLER, A. R.;KHADER, O.; LAPEN, D. R. & SUDICKY, E. ۲۰۱۹. Evaluation of variability among different precipitation products in the Northern Great Plains. *Journal of Hydrology: Regional Studies,* **۲٤**: ۱۰۰٦۰۸.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-04-26]

[DOI: 10.29252/jsaeh.7.3.29]